



Pada kasus VLF 2-D medan EM dapat dipandang sebagai superposisi modus *transverse electric* (TE) dimana komponen medan listrik tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombang (E_y , H_x , H_z). Sehingga dengan menjabarkan persamaan (1) dalam mode 2D maka bisa didapatkan nilai distribusi E_y .

Dalam bentuk persamaan diferensial persamaan (1) untuk medan total ditulis .

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} - i\omega\mu\sigma E_y + \omega^2 \varepsilon\mu E_y = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} + (\omega^2 \varepsilon\mu - i\omega\mu\sigma)E_y = 0 \quad (4)$$

Sumbu y merupakan arah jurus dan pengertian tegak lurus merujuk pada sumbu-z sebagai sumbu penjalaran gelombang dan bernilai positif ke bawah. Pada material bumi yang dikenai gelombang *Very Low Frequency* (VLF) yang kurang dari 10^5 Hz, arus pergeserannya jauh lebih kecil dari pada arus konduksinya ($\omega^2 \varepsilon\mu \ll \omega\mu\sigma$) sehingga nilai $\omega^2 \varepsilon\mu$ bisa kita abaikan (Nabighian, 1989).

Karena adanya atenuasi maka hanya frekuensi rendah yang diperhatikan sehingga arus perpindahan lebih kecil dari arus konduksi. Pengaruh perubahan permeabilitas magnetik diabaikan karena nilainya jauh lebih kecil dibanding efek-efek perubahan konduktivitasnya sehingga $\mu = \mu_0$ di setiap tempat (Wahyu, 1998).

Pada kasus VLF dengan eksitasi gelombang bidang, ungkapan persamaan diferensialnya medan totalnya ditulis (Wahyu, 1998) :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) - \sigma E_y = 0 \quad (5)$$

untuk modus TM (*transverse magnetic*) dengan komponen medan magnet tegak lurus arah penjalaran (H_y , E_x , E_z) medan totalnya ditulis (Wahyu, 1998) :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\sigma} \frac{\partial H_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\sigma} \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) - i\omega\mu H_y = 0 \quad (6)$$

Dari persamaan (5) dan (6) akan dicari distribusi medan E_y dan H_y melalui penjabaran dengan menggunakan metode elemen hingga.

CARA PENELITIAN

Langkah langkah yang di lakukan dalam pemodelan VLF ini adalah :

1. menetapkan persamaan matematis yang terlibat dalam program komputasi yaitu distribusi komponen medan elektromagnetik helmholtz yang diubah menjadi versi diskrit.
2. menganalisis algoritma yang akan diimplementasikan dalam program
3. mengimplementasikan persamaan matematis dalam bentuk program.
4. membandingkan hasil simulasi program dengan kajian pustaka.

Secara umum persamaan yang dipakai dalam metode komputasi pemodelan ini adalah persamaan yang sudah dalam bentuk matriks yang kita tulis sebagai berikut.

Persamaan dalam modus TE nilai E_y untuk *node* elemen adalah :

$$\left(\frac{1}{4aA} \begin{bmatrix} b_i^2 + c_i^2 & b_i b_j + c_i c_j & b_i b_k + c_i c_k \\ b_j^2 + c_j^2 & b_j b_k + c_j c_k \\ \text{simetri} & b_k^2 + c_k^2 \end{bmatrix} - \frac{bA}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \right) f_e = 0 \quad (7)$$

dengan $f_e = E_y$, $a = i\omega\mu$ dan $b = \sigma$

Persamaan dalam modus TM nilai H_y untuk *node* elemen adalah :

$$\left(\frac{1}{4aA} \begin{bmatrix} b_i^2 + c_i^2 & b_i b_j + c_i c_j & b_i b_k + c_i c_k \\ b_j^2 + c_j^2 & b_j b_k + c_j c_k \\ \text{simetri} & b_k^2 + c_k^2 \end{bmatrix} - \frac{bA}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \right) f_e = 0 \quad (8)$$

dimana $f_e = H_y$, $a = \sigma$ dan $b = i\omega\mu$

Parameter sudut kemiringan (tilt) (θ %) polarisasi medan EM :

$$\tan(2\theta) = \frac{2(H_z/H_x)\cos\phi}{1 - (H_z/H_x)^2} \times 100 \% \quad (9)$$

ϕ adalah sudut fase.

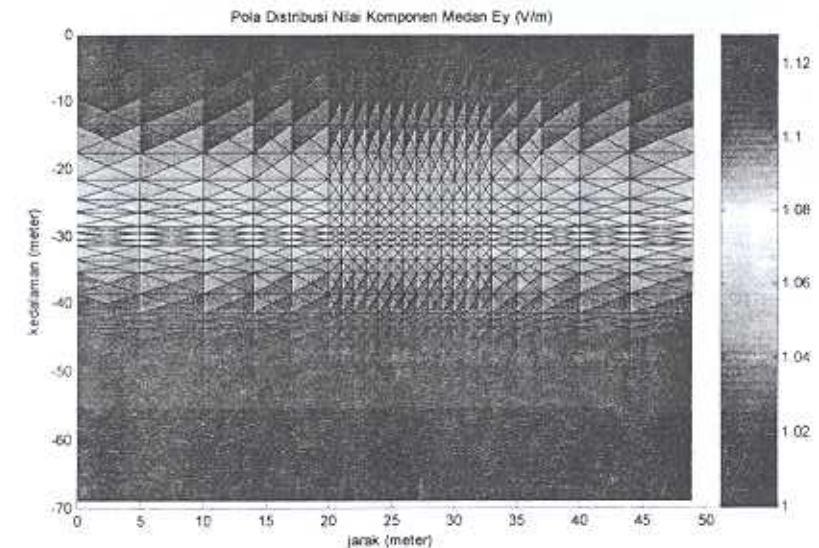
Perbandingan nilai komponen H_z dan H_x (H_z dan H_x) dalam persamaan (9) bisa kita dapatkan setelah kita mendapatkan distribusi nilai komponen medan H_y (H_y) di permukaan (*air-ground interface*) melalui proses komputasi. (Kaikkonen,1979).

Demikianlah persamaan-persamaan yang terkait dengan penyusunan program komputasi

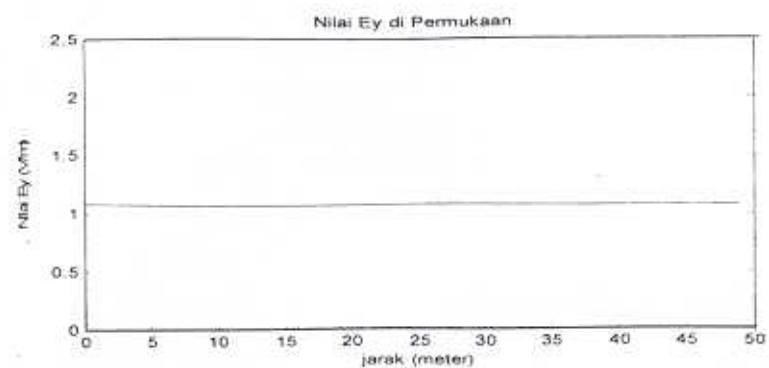
HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk model batu gamping homogen dengan variasi penambahan lubang goa dan lapisan air, bisa didapatkan pola distribusi nilai komponen medan E_y dan H_y beserta grafik distribusi nilai medan di permukaan.

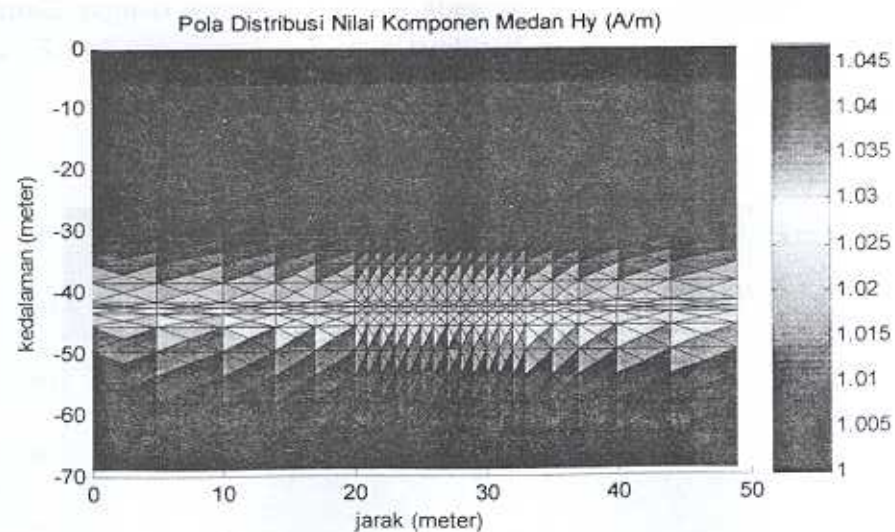
Seperti yang disajikan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 12., dapat dianalisis pola distribusi nilai komponen E_y dan H_y beserta grafik distribusi nilai medan di permukaan.



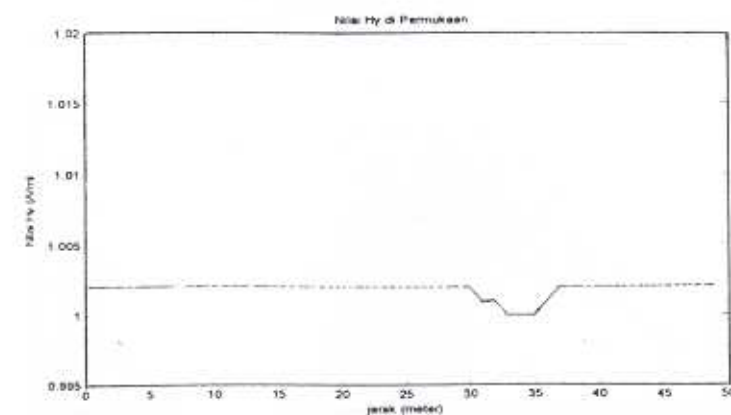
Gambar 1. Pola distribusi nilai komponen medan E_y untuk medium homogen



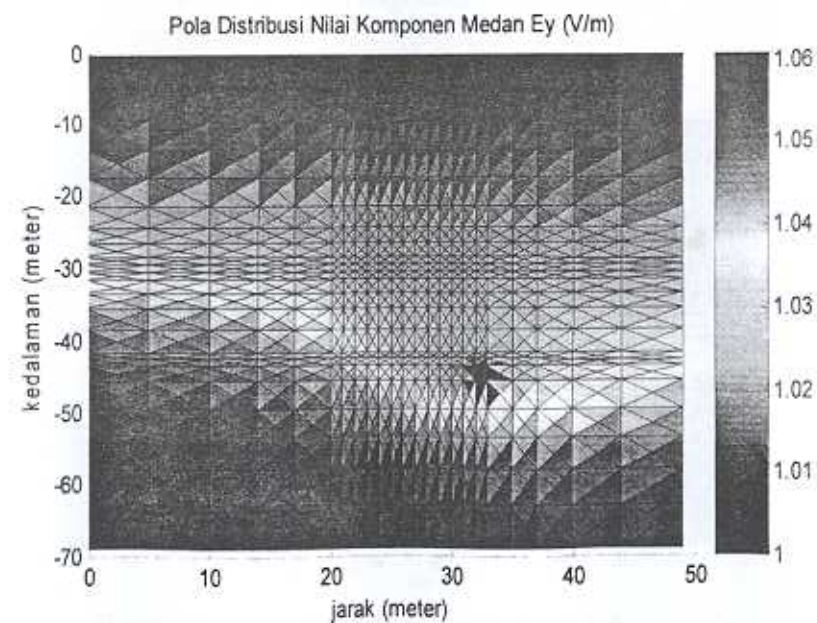
Gambar 2. Grafik nilai komponen medan E_y di permukaan untuk medium homogen



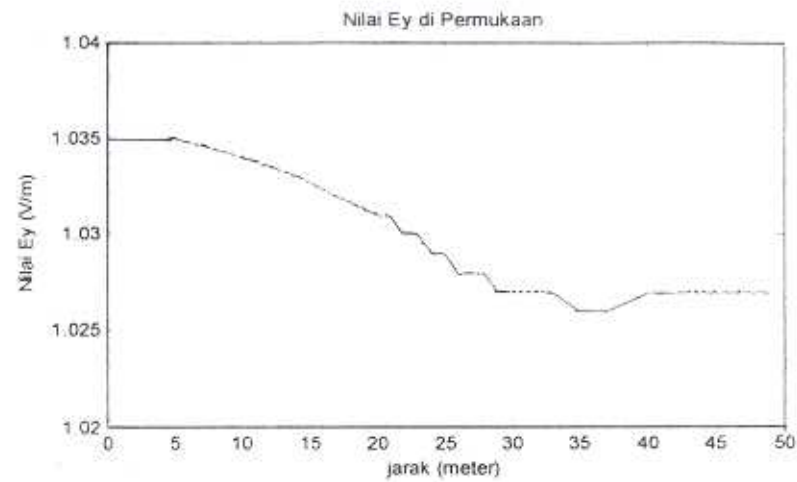
Gambar 3. Pola distribusi nilai komponen medan H_y untuk medium homogen.



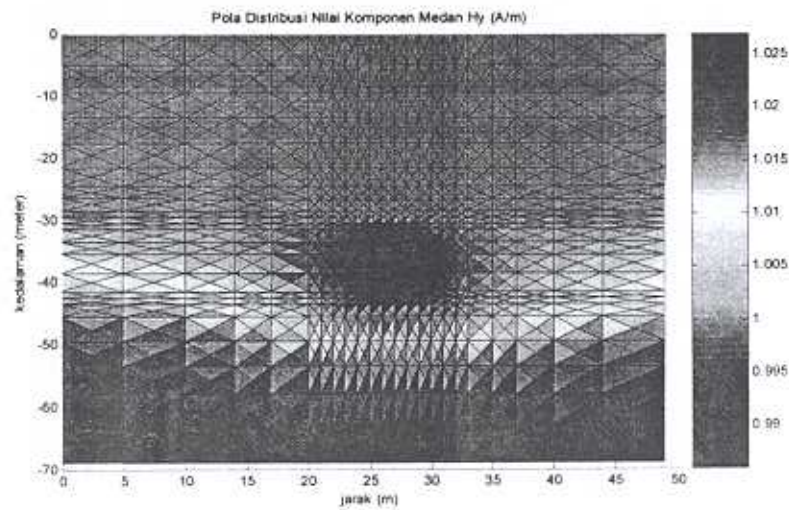
Gambar 4. Grafik nilai komponen medan H_y di permukaan untuk medium homogen



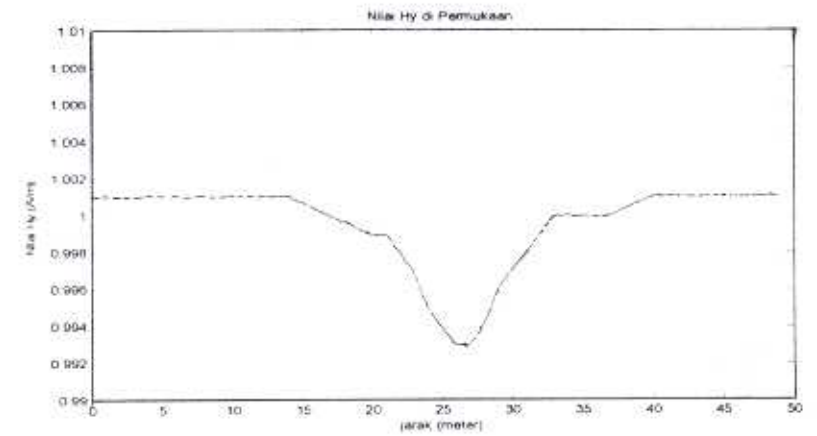
Gambar 5. Pola distribusi nilai komponen medan E_y untuk medium homogen berlubang goa.



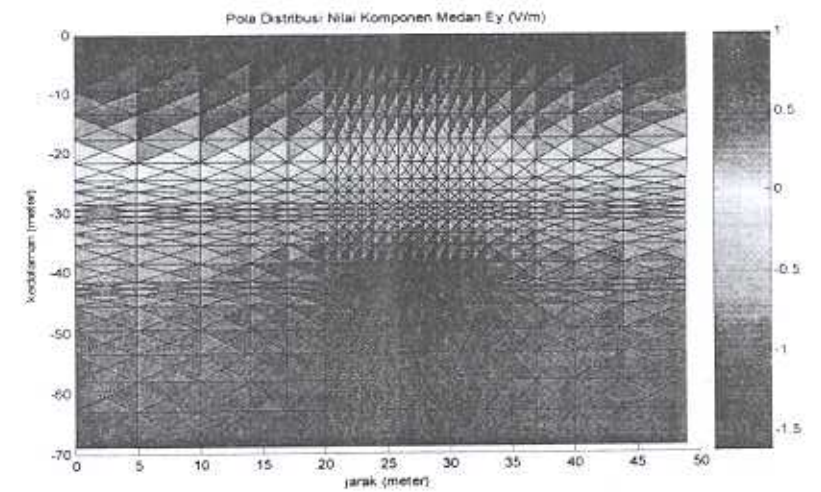
Gambar 6. Grafik nilai komponen medan E_y di permukaan untuk medium homogen berlubang goa.



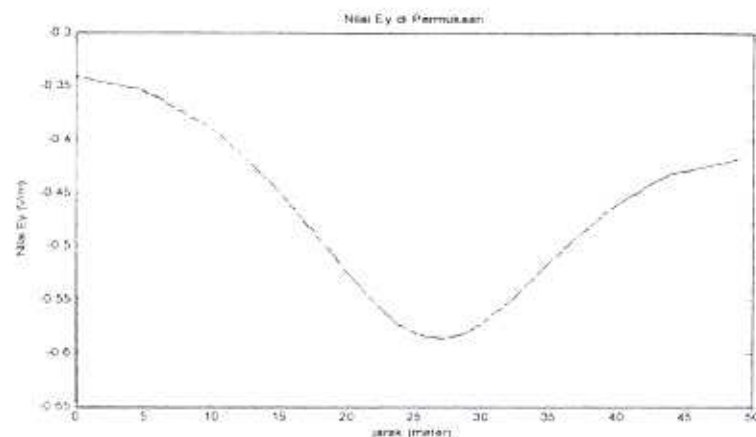
Gambar 7. Pola distribusi nilai komponen medan H_y untuk medium homogen berlubang goa



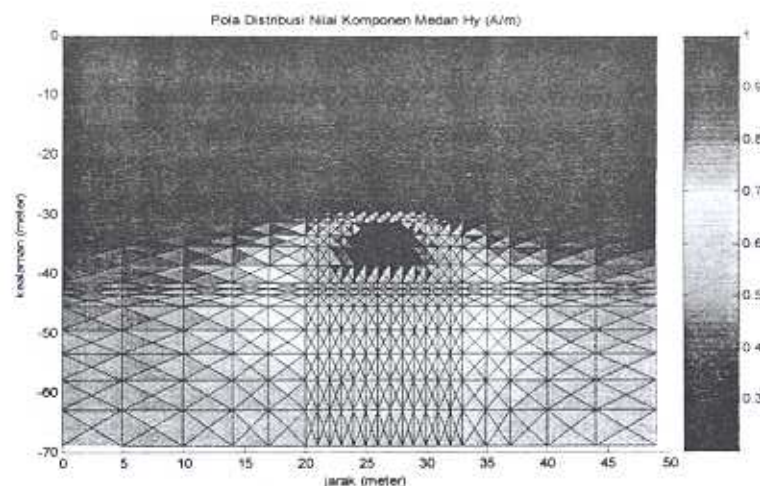
Gambar 8. Grafik nilai komponen medan H_y di permukaan untuk medium homogen berlubang goa



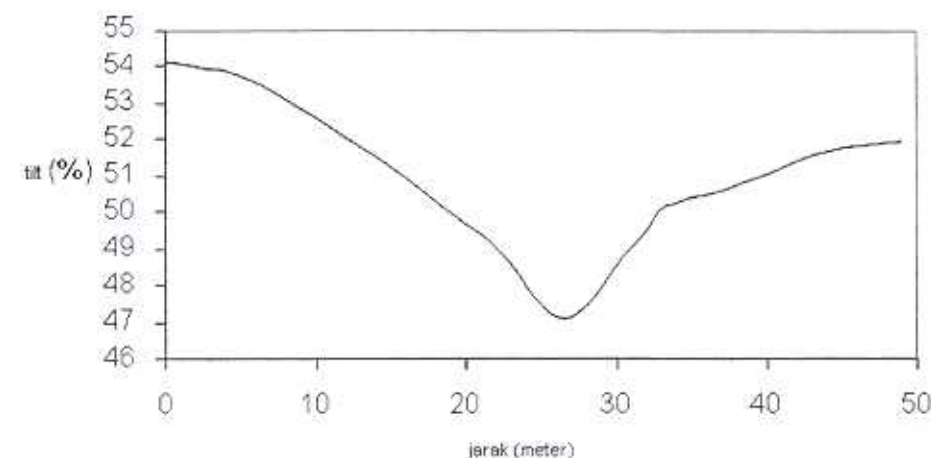
Gambar 9. Pola distribusi nilai komponen medan E_y untuk medium homogen berlubang goa dan lapisan air



Gambar 10. Grafik nilai komponen medan E_y di permukaan untuk medium homogen berlubang goa dan lapisan air



Gambar 11. Pola distribusi nilai komponen medan H_y untuk medium homogen berlubang goa dan lapisan air



Gambar 14. Grafik tilt medium berlubang goa di aliri sungai

Berdasarkan hasil perhitungan sudut kemiringan, dapat dibedakan antara konduktor yang buruk dengan konduktor yang baik. Petunjuk keberadaan goa bawah tanah dan aliran sungai didalamnya dapat ditentukan dari profil kelainan pada hasil perhitungan nilai polarisasinya. Efek medium konduktif yang rendah sangat jelas pada profil sudut kemiringan. Nampak bahwa penguatan (positif) untuk konduktor yang buruk dan pelemahan (negatif) untuk konduktor yang baik, hal ini sesuai dengan Ogilvy *et al.*, 1991.

Perubahan skala yang kecil pada medium resistif (goa) menunjukkan bahwa metode VLF tidak memberikan respon yang baik untuk pendeteksian keberadaan goa, sedang untuk pendeteksian keberadaan air bawah tanah (medium konduktif) metode VLF memberikan respon yang baik dengan perubahan skala yang signifikan.

KESIMPULAN

1. Telah berhasil dibuat program respon gelombang EM VLF 2D untuk menyelesaikan persamaan diferensial medan total di dalam model medium batu gamping homogen berlubang goa dan berlapis air dengan menggunakan metode elemen hingga.
2. Dari hasil penggambaran distribusi nilai komponen medan E_y dan H_y menunjukkan bahwa respon polarisasi magnetik (H)

menunjukkan perubahan signifikan, namun tidak demikian dengan respon polarisasi elektrik (E).

3. Dari hasil perhitungan sudut kemiringan (*tilt*) akibat efek polarisasi gelombang EM, terjadi penguatan (positif) untuk konduktor yang buruk dan pelemahan (negatif) untuk konduktor yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Davies, K., 1965, *Ionospheric Radio Propagation*, Central Radio Propagation Laboratory, USA.
- Kaikkonen, P., 1979, *Numerical VLF Modelling*, *Geophysical Prospecting*, 27, 815-834.
- Nabighian, M.N., 1989, *Numerical Modeling for Electromagnetic Methods of Geophysics*, *Electromagnetic Methods: Theory and Practice*, vol.1, Society of Exploration Geophysicists.
- Ogilvy, R.D., Cuadra, A., Jackson, P.D., and Monte, J.L., 1991, *Detection of an air filled drainage gallery by the VLF method*, *Geophysical Prospecting*, 39, 845-859.
- Paal, G., 1965, *Ore prospecting based on VLF radio signal*, *Geoexploration*, 3, 139-147.
- Paterson, N.R., and Ronka, V., 1971, *Five years of surveying with the very low frequency - electromagnetic method*, *Geoexploration*, 9, 7-26.
- Smith, B. D., and Ward, S. H., 1974, *On The Computation of Polarization Ellipse Parameters*, *Geophysics*, v. 39, 867-869.
- Tisley, J. E., 1973, *A portable VLF-EM source for use in geological mapping of veins and fault structures and conventional prospecting*, Report : David S. Robertson and Associates, Toronto, Canada.
- Wahyu, S , 1998 , *Pemodelan Elemen Hingga Respon Elektromagnetik 2-D Untuk Sumber Gelombang Bidang*, *Jurnal KFI* Vol. 9. No.1.